(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

UO‘K: 662.7 10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.33

MISHYAK SAQLAGAN QIYIN ERITILADIGAN OLTIN RUDALARIGA DASTLABKI ISHLOV BERISH JARAYONINING NAZARIY ASOSLARI

Aripov Avaz Rozikovich

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, (PhD), Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: avaz.aripov.82@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0428-507X

Sayfullayev Farruxjon Ibodovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956

Qurbonov Mehrob Nuriddinovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: mehrobqurbonov99@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-4897-9455

Xalilova Shaxnoza Isroilovna

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: shaxnozkhalilova@gmail.com

Annotatsiya. *Maqolada oltin tarkibli arsenidli rudalarning qiyin qayta ishlanish muammosi tavsiflangan. Ushbu maqolada mishyak tarkibli oltin ma’danlariga dastlabki ishlov berish texnologiyasining asosiy tamoyili, xususiyatlari va qo‘llanilishi keltirilgan. Qiyin qayta ishlanadigan rudalarga dastlabki ishlov berish uchun bir necha xil jarayon variantlari ko‘rib chiqilgan. Bu variantlarga quyidagilar kiradi: kuydirish orqali oksidlash; ho‘l kimyoviy ishlov berish; bakterial oksidlash; shuningdek, vakuumda mishyakni yo‘qotish, uchuvchan eritish, elektrokimyoviy oksidlash kabi boshqa dastlabki ishlov berish usullari. Kelajakda bu sohadagi rivojlanish tendensiyalari ham taxmin qilingan.*

Kalit so‘zlar: *mishyakli oltin rudasi, dastlabki qayta ishlash jarayoni, qiyin ajratiladigan oltin rudasi.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ УПОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД, СОДЕРЖАЩИХ МЫШЬЯК

Арипов Аваз Розикович

Доктор философии по техническим наукам (PhD), Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Сайфуллаев Фаррухджон Ибодович

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Курбанов Мехроб Нуриддинович

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Халилова Шахноза Исроиловна

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. *В статье описана проблема трудной переработки золотосодержащих мышьяковистых руд. Представлены основные принципы, особенности и применение технологии первичной обработки золотых руд, содержащих мышьяк. Рассмотрено несколько различных вариантов процесса предварительной обработки труднопереработываемых руд. К этим вариантам относятся: окислительный обжиг; гидрометаллургическая обработка; бактериальное окисление; а также другие методы предварительной обработки, такие как вакуумная возгонка мышьяка, возгонка с последующим растворением и электрохимическое окисление. Также прогнозируются тенденции развития в этой области в будущем.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Ключевые слова: *мышьяковистая золотая руда, процесс предварительной переработки, трудноизвлекаемая золотая руда.*

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE PRELIMINARY PROCESSING OF REFRACTORY ARSENIC-BEARING GOLD ORES

Aripov Avaz Rozikovich
Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD), Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, Uzbekistan

Sayfullaev Farrukhjon Ibodovich
Assistant, Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, Uzbekistan

Qurbonov Mehrob Nuriddinovich
Assistant, Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, Uzbekistan

Khalilova Shakhnoza Isroilovna
Assistant, Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, Uzbekistan

Abstract. *The article addresses the challenge of processing gold-bearing arsenic ores. It presents the main principles, characteristics, and application of the technology for primary processing of gold ores containing arsenic. Several different options for the preliminary processing of difficult-to-treat ores are examined. These options include: oxidative roasting, hydrometallurgical treatment, bacterial oxidation, as well as other preliminary processing methods such as vacuum sublimation of arsenic, sublimation followed by dissolution, and electrochemical oxidation. The article also forecasts future development trends in this field.*
Keywords: *arsenical gold ore, preliminary processing, refractory gold ore.*

Kirish. Oltin rudalari, agar ulardan oltin an'anaviy sianlash jarayoni orqali 80% dan kam ajratib olinsa, qiyin eriydigan hisoblanadi. Tarkibida mishyak bo'lgan qiyin eriydigan oltin rudalarini qayta ishlash nihoyatda murakkab. Bu rudalarda oltin mishyak mineral matritsasida mikroskopik yoki submikroskopik panjarada joylashgan bo'ladi [1]. An'anaviy sianlash jarayoni qo'llanilganda, oltinning eritmaga o'tish tezligi juda past bo'ladi. Chunki bunday rudalarda oltin juda mayda zarrachalar shaklida mishyak bilan o'ralgan bo'lib, tanlab eritish reagentlari ularga ta'sir qila olmaydi.

Mishyak saqlovchi rudalar oltin zarrachalari darajasida yanchilishi yoki parchalanishi kerak, shunda oltin to'liq ochiladi va keyin uni tegishli tanlab eritish vositasi yordamida ajratib olish mumkin. Yanchish jarayoni yoki oltinni tanlab eritishdan oldin parchalash jarayoni dastlabki ishlov berish deb ataladi. Bu qiyin eriydigan oltin rudalari uchun qo'llaniladi [2].

Statistika shuni ko'rsatadiki, dunyodagi oltin zaxiralarining qariyb 2/3 qismi qiyin qayta ishlanadigan rudalar hisoblanadi va jahon oltin ishlab chiqarishining taxminan 1/3 qismi qiyin eriydigan oltin rudalaridan olinadi. Bu nisbat kelajakda yanada oshishi kutilmoqda. Shu sababli, tarkibida mishyak bo'lgan qiyin eriydigan oltinga dastlabki ishlov berish nihoyatda muhim ahamiyat kasb etadi. So'nggi yillarda tadqiqotlar asosan qiyin eriydigan oltinni oson ishqorlash usullari, oltinni ochish uchun mishyakni yo'qotish, tarkibini o'zgartirish, rudaning fizik-kimyoviy va elektrokimyoviy xususiyatlarini o'zgartirish haqida olib borilmoqda.

Hozirgi kunda mishyak tarkibli qiyin eriydigan oltin rudalariga dastlabki ishlov berishning to'rtta asosiy usuli mavjud. Qiyin eriydigan oltin rudalarini qayta ishlash uchun dastlabki ishlov berish usullari 1-rasmda ko'rsatilgan va keyingi bo'limlarda batafsil yoritilgan. Qiyin eriydigan oltin rudalarini qayta ishlash uchun dastlabki ishlov berish usullari keyingi bo'limlarda batafsil bayon etilgan [3].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. *Oksidlovchi kuydirish usuli bilan dastlabki ishlov berish.* Hozirgacha oksidlovchi kuydirish bilan dastlabki ishlov berish usuli 70 yillik tarixga ega. Bu usulning mohiyati shundaki, flotatsiya konsentratini kuydirish orqali ruda to'qimalarini parchalab, oltinni ochiq holga keltirish imkonini beradi. Asosiy kimyoviy reaksiyalar quyidagilardan iborat [4]:

$$12FeAsS(s) + 29O_2(g) = 4Fe_3O_4(s) + As_2O_6(g) + 2SO_2(g) \quad (1)$$

$$2FeAsS(s) + O_2(g) = Fe_2O_3(s) + As_2O_5(g) + SO_2(g) \quad (2)$$

Kuydirishda, ruda tarkibidagi oltingugurt va mishyakning oksidlanishi hamda ohaktosh yoki dolomitning parchalanishi natijasida qattiq sulfat va

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

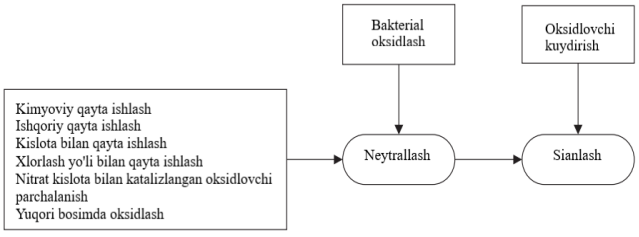
arsenat hosil qilinadi. Bu jarayon rudaga qo‘shimcha moddalar qo‘shish orqali amalga oshiriladi.

$$2CaO + 2SO_2 + O_2(g) = CaSO_4(s) \quad (3)$$

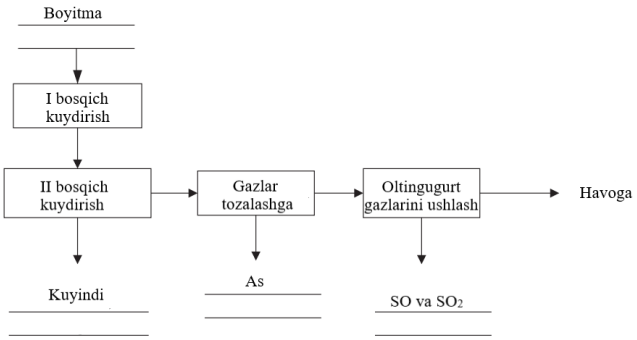
$$3CaO + As_2O_3 = Ca_3(AsO4)_2 \quad (4)$$

Bunday kuydirish oltinning sianidda tanlab eritish tezligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Kuydirish samarali va ishonchli texnologiya bo‘lib, oddiy ishlash mexanizmi, moslashuvchanlik kabi afzalliklarga ega. Biroq, kuydirish jarayonida oltinning tanlab eritish tezligini pasaytiruvchi ikkilamchi qobiq hosil bo‘lishi oson, shu bilan birga atrof-muhitni jiddiy ifloslaydigan SO_2 va As_2O_3 gazlari ajralib chiqadi. Yuqori miqdorda sulfid saqlagan rudalarda bu jarayon sulfat kislota ishlab chiqarishga olib keladi. Bu nomaqbul xususiyat hisoblanadi, chunki sulfat kislota bozori allaqachon to‘yingan. Kam miqdorda sulfid saqlagan rudalarda esa gaz tozalash uskunalari talab etiladi. Ba’zi hollarda, oldindan oksidlash usuli metallni yomon qayta tiklanishiga olib kelishi mumkin. Jarayonning texnologik sxemasi 2-rasmda ko‘rsatilgan.

Kuydirish jarayonida sulfidlarning yetarli darajada yonmasligi, haddan tashqari yonishi va ifloslanishi hamda boshqa nuqsonlarni bartaraf etish maqsadida ilmiy-texnik xodimlar ko‘p yillardan beri kuydirish jarayoni va uskunalarini takomillashtirish va rivojlantirish bo‘yicha tadqiqotlar olib bormoqdalar. Qurilmalar uchun ular yakka pechdan ko‘p kamerali pechgacha, qo‘zg‘almas qatlamli kuydirishdan oqimli qatlamli va tezkor kuydirish usullarini ham sinovdan o‘tkazdilar. Kuydirish texnologiyasi uchun bir bosqichli kuydirishdan ikki bosqichli, oddiy havoli kuydirishdan kislorod bilan boyitilgan kuydirishgacha rivojlandi. Bundan tashqari, tiklovchi kuydirish, xlorlovchi kuydirish, tuz bilan oltingugurtni fiksatsiyalash va mishyakni kuydirish an’anaviy jarayon asosida ishlab chiqildi.



1-rasm. Qiyin eriydigan oltin rudalariga dastlabki ishlov berishning umumiy jarayon variantlari.



2-rasm. Ikki bosqichli kuydirish jarayonining texnologik sxemasi.

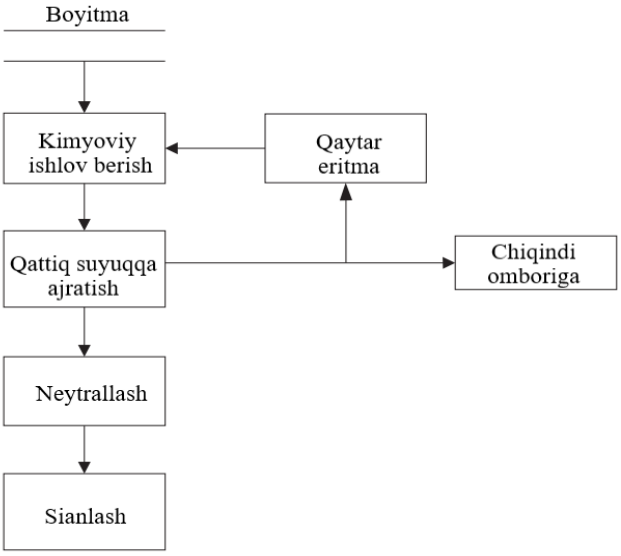
Oksidlovchi kuydirish jarayonida muqarrar ravishda ma’lum miqdorda zaharli va zararli gazlar ajralib chiqadi. Mikroto‘lqinli pechda kuydirish bu muammoni hal qilish uchun yangi dastlabki ishlov usuli hisoblanadi. U minerallarni qizdirish uchun minerallarning yutish xususiyatidan foydalanadi. Shu tarzda oltin, mishyak va oltingugurtni rudalardan ajratib olish mumkin. Mikroto‘lqinli kuydirish minerallarni qizdirish uchun mineral yutish xususiyatidan foydalanadi va quyidagi afzalliklarni ega: minerallarni tanlab qizdirish, qizdirish tezligi yuqoriligi va yuqori qizdirish samaradorligidan iborat. Mikroto‘lqinli qizdirish kimyoviy reaksiya haroratini pasaytirish xususiyatiga ega. Shuning uchun haroratni tegishli ravishda nazorat qilish orqali SO_2 va As_2O_3 gazlari hosil bo‘lishining oldini olish mumkin [5, 6, 7].

Kyuesi, Xake va boshqalar mishyak tarkibli, qiyin eriydigan oltin rudasidan oltin ajratib olish jarayonida mikroto‘lqinlarning ahamiyatini tadqiq etishgan [8, 9]. Xake va Kyuesi mishyakli va pirit tarkibli oltin boyitmalarini qayta ishlash uchun mikroto‘lqinli qurilmadan foydalangan, bunda oltinni ajratib olish darajasi 98% ga yetgan [10]. Liu Quanjun va hamkasblari Guychjou viloyatidagi oltin konida tajriba o‘tkazishgan. Mikroto‘lqinli dastlabki ishlovsiz ruda sianidda deyarli erimagan. Boshqa tomondan, mikroto‘lqinli ishlovdan so‘ng oltin rudasini sianli eritma yordamida ajratib olish darajasi 86,53% gacha oshgan [11]. Vey Mingan, Ma Shaojian va boshqalar ham oltin boyitmasiga mikroto‘lqinli dastlabki ishlov berish bo‘yicha tadqiqot olib borishgan va ijobiy natijalarga erishishgan.

Kimyoviy ishlov berish. Kimyoviy ishlov berish rudalarni dastlabki qayta ishlashning yana bir

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

yo‘nalishi bo‘lib, u kuydirish jarayoniga xos bo‘lmagan afzalliklarga ega. Bular chala yonish va o‘ta yonish tufayli kelib chiqadigan murakkab ikkilamchi tanlab eritish muammolarining yo‘qligi, turli rudalarga moslashtirilgan va ularga mos ravishda tanlanadigan reagentlardir. Kimyoviy ishlov berish jarayoni 3-rasmda ko‘rsatilgan.



3-rasm. Kimyoviy tanlab eritish jarayonining texnologik sxemasi.

Reagentlarning mavjudligi va narxi, qurilish materiallari, atrof-muhit muammolari va rivojlanish jarayoni bu usullarning qo‘llanilishini cheklashga olib keladi. Turli muhitlarga ko‘ra, dastlabki ishlov berish ishqoriy va kislotali tanlab eritish usullariga bo‘linadi. Reaksiya sharoitiga qarab, uni atmosfera bosimida va yuqori bosim ostida dastlabki ishlov berish turlariga ajratish mumkin Reaksiya sharoitiga qarab, jarayonni quyidagilarga bo‘lish mumkin: atmosfera bosimi va issiq bosim bilan oldindan ishlov berish [12].

Ishqoriy usul bilan dastlabki ishlov berish. Ishqoriy usul bilan dastlabki ishlov berish - bu kimyoviy reagentlar qo‘shish orqali rudaning tarkibiy qismlarini oksidlash va yo‘qotish imkonini beruvchi kimyoviy dastlabki ishlov berish jarayonidir.

Meng Yuqun, Wu Minjie va boshqalar normal harorat va bosimda mishyak saqlagan oltin boyitmalarini ishqoriy tanlab eritish bilan dastlabki ishlashni kuchaytirish bo‘yicha tadqiqot o‘tkazishgan. Oltin boyitmasida asosan sulfidlardan iborat ko‘plab metall minerallari mavjud. Ular asosan pirit, arsenopirit, temir rudasi va shunga o‘xshash minerallardan tashkil topgan. Tajribada namuna fizik va kimyoviy usullar bilan ajratilgan hamda o‘ta mayda qilib yanchilgan. So‘ngra, jarayonni tezlashtirish uchun aralashtiriluvchi dastgohda normal harorat va bosimda ishqoriy tanlab eritish amalga oshirilgan. Oltingugurt va mishyakni olib tashlash orqali oltin va sulfid to‘liq ajratilgan. Yakuniy bosqichda oltin sianid bilan tanlab eritilgan va natijada oltin samarali ajratib olingan. Asosiy kimyoviy reaksiyalar quyidagicha:

$$3FeAsS + 9NaOH + 4O_2 = Na_3AsS_3 + 2NaAsO_4 + 3Fe(OH)_3 \quad (5)$$

$$4FeAsS + 4FeS_2 + 12NaOH + 3O_2 + 6H_2O = Na_3AsS_3 + 4Fe(OH)_3 \quad (6)$$

$$2FeAsS + 4NaOH + 7O_2 = 2FeAsO_4 + 2Na_2SO_4 + 2H_2O \quad (7)$$

$$2FeAsS + 4NaOH + 7O_2 = 2Fe(OH)_3 + 2NaAsO_4 + 2Na_2SO_4 + 2H_2O \quad (8)$$

$$4FeS_2 + 4NaOH + 7O_2 = 2Na_2S_2O_3 + 2Fe(OH)_3 \quad (9)$$

Ma’lum sharoitda $Na_2S_2O_3$ va Na_3AsS_3 yanada oksidlanib, Na_2SO_4 va Na_3AsO_4 ga aylanadi, $Fe(OH)_2$ esa $Fe(OH)_3$ ga oksidlanadi. $Fe(OH)_3$ parchalanib, Fe_2O_3 hosil qiladi. Bu usul atrof-muhitni muhofaza qiluvchi, oddiy jarayonli, qisqa texnologik zanjirli, kam sarmoya talab qiluvchi va boshqa afzalliklarga ega [13, 17].

Kislota bilan ishlov berish. Atmosfera sharoitida kislotali ishlov berish jarayonida odatda permonosulfat kislotasi (H_2SO_5) qo‘llaniladi va u mishyak tutuvchi murakkab oltin rudalarini oksidlovchi vosita sifatida ishlatiladi. Bu usul barcha turdagi murakkab oltin rudalariga nisbatan samarali emasligi ta’kidlanadi, biroq ayniqsa simbiotik tarzda uchraydigan arsenopirit bilan bog‘langan oltin rudalarini qayta ishlashda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi. Sababi, arsenopirit nisbatan oson oksidlanadi.

Kuydirish orqali oldindan ishlov berish va bosimli oksidlash texnologiyalari bilan taqqoslaganda, kislotali ishlov berish usuli ancha arzon hisoblanadi. Biroq, texnologik yechimlar va uskunalar bilan bog‘liq muammolar tufayli ushbu usul hozircha sanoat darajasida keng qo‘llanilmayapti.

Xlorlash. Xlorlash usuli xlor yoki xlorli oksidlovchi moddalar yordamida mishyak saqlovchi murakkab oltin rudalarini qayta ishlashda qo‘llaniladi. Bu usul ayniqsa uglerodli murakkab oltin

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

rudalarini qayta ishlashda samarali bo‘lib, yuqori mishyakli oltin rudalariga oldindan ishlov berishda qo‘llaniladi.

Pekin Tog‘-kon va Metallurgiya Umumiy Tadqiqot Instituti Guichjou (Guizhou) minta-qasidagi yuqori mishyak saqlagan murakkab oltin tarkibli rudalari ustida tadqiqot o‘tkazgan. Unda suvli xlorlash usuli yordamida oltin eritib olingan va oltinning eritilish darajasi 91,48% ga yetgan. Biroq, xlor birikmalarining yuqori narxi hamda uskuna-larning kuchli korroziyaga uchrashi ushbu texno-logiyaning keng qo‘llanilishiga to‘sqinlik qilayot-gan asosiy omillardan hisoblanadi [17].

HNO_3 ishtirokida oksidlovchi parchala-nishning katalizlash usuli. Azot kislotasi - pirit, arsenopirit va rangli metallarning sulfidlarini eng samarali oksidlovchi moddadir. Ushbu usulda azot kislotasi past harorat va bosim sharoitida pirit va arsenopiritni katalitik oksidlaydi. Kimyoviy reak-siyalar quyidagicha sodir bo‘ladi [19]:

$$3FeAsS + 8HNO_3 = Fe^{3+} + AsO_4^{3-} + S^0 + 4H_2O+8NO \quad (10)$$

$$6FeS_2 + 30HNO_3 = Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_4+12H_2O+30NO \quad (11)$$

$$2FeS_2 + 6HNO_3 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 4H_2O+6NO \quad (12)$$

HNO_3 bilan oksidlash - bu istiqbolli oldindan ishlov berish texnologiyalaridan biri hisoblanadi. Cigna korporatsiyasi dunyodagi ko‘plab konlarga tegishli oltin rudalari ustida tajribalar o‘tkazgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, oltingugurt miqdori 1% dan 50% gacha bo‘lgan rudalarga nisbatan usul samarali bo‘lgan va oksidlovchi oldindan ishlov berish vaqti qisqargan [20].

Biroq, bu usul hali ham yuqori harorat va bosim sharoitida olib boriladi. Bundan tashqari, azot kislotasini regeneratsiya qilish (qayta ishlatish) muammosi hali hal etilmagan. Shu sababli, bu texnologiyaning ustunliklari sanoatlashtirilgan ishlab chiqarish tajribalari bilan hali tasdiqlanmagan [21, 22].

Yuqori bosim ostida oksidlash. Bosim ostida oksidlash jarayoni nisbatan yetuk va keng tatbiq etilgan texnologiya hisoblanadi. Ushbu usulda oltin tutuvchi sulfid birikmalari yuqori harorat va bosim sharoitida oksidlanadi hamda parchalanadi. Natijada, rudaning ichki tuzilmasida joylashgan oltin ochilib, tanlab eritish jarayoni tezlashadi. Asosiy kimyoviy reaksiyalar quyidagicha [23]:

$$4FeAsS + 13O_2(g) + 6H_2O = 4FeSO_4 + 4H_3AsO_4 \quad (13)$$

$$4FeAsS + 7O_2(g) + H_2SO_4 + 6H_2O = 4FeSO_4 + 4S(l) + 4H_3AsO_4 \quad (14)$$

$$2S(l) + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 \quad (15)$$

Reaksiyalar davomida ajralayotgan oltin-gugurt qaytadan oltinni o‘rab olishi mumkin, bu esa sian bilan eritib olish (sianlash) jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Yuqori harorat va bosim bunday oltingugurt hosil bo‘lishining oldini olishda sama-ralidir.

Bosim ostida oksidlash jarayoni nafaqat kislotali muhitda, balki ishqoriy muhitda ham amalga oshirilishi mumkin. Ushbu usul ruda va boyitmalarni qayta ishlashga mos keladi.

Uning quyidagi afzalliklari mavjud:

1. Oksidlanish mahsulotlari suvda eriydi va reaksiyalar to‘liq amalga oshadi;
2. Zararli gazlar ajralib chiqmaydi;
3. Katta hajmdagi oltin ishlab chiqarish korxonalari uchun qulay.

Shuningdek, ba’zi kamchiliklari ham mavjud: uskuna va materiallar sifati uchun yuqori talablar qo‘yiladi; yuqori bosimda ishlovchi qurilmalarning xavfliligi; jarayon ehtiyotkorlik bilan boshqarilishi va xizmat ko‘rsatilishi talab etiladi.

Agar sharoitlar yetarli darajada nazorat qilinmasa, oltingugurt hosil bo‘lishi mumkin, bu esa jarayonga salbiy ta’sir ko‘rsatib, oltin ajralib chiqishini kamaytiradi. Ushbu usul organik uglerod tutuvchi murakkab oltin rudalariga nisbatan mos emas.

Bakterial oldindan oksidlash. Bakterial oldindan oksidlash bo‘yicha tadqiqotlar hozirgi kunda juda faol olib borilmoqda. Ushbu texnologiya 1950-yillarda rudalarni qayta ishlashda qo‘llana boshlandi va dastlab tarkibida metall kam bo‘lgan mis rudalaridan misni ajratib olishda ishlatilgan. 1980-yillar o‘rtalarida Janubiy Afrikada murakkab oltin tarkibli rudalarni bakterial oksidlovchi oldindan ishlov berish usulini qo‘llaydigan birinchi tijorat korxonasi qurildi. Bakterial oksidlashdan so‘ng sulfidlar parchalanadi va mishyak eritmaga o‘tadi, natijada mishyak ajratib olinadi. Ushbu jarayon 4-rasmda tasvirlangan. Asosiy kimyoviy reaksiyalar quyidagicha:

$$2FeAsS + 7O_2(g) + H_2SO_4 + H_2O = Fe_2(SO_4)_3 + H_3AsO_4 \quad (16)$$

Reaksiya natijasida hosil bo‘lgan temir sulfat

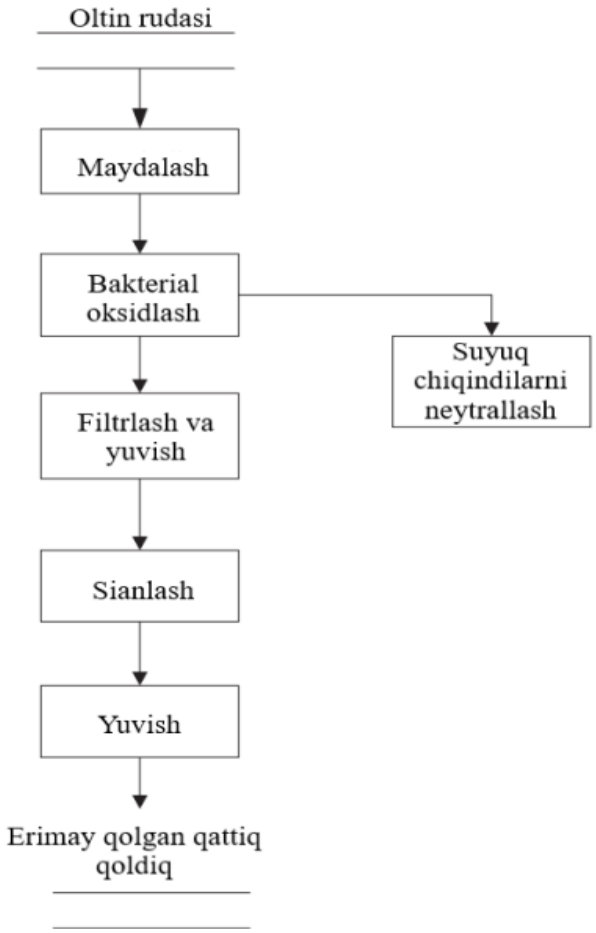
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

($Fe_2(SO_4)_3$) kuchli oksidlovchi bo‘lib, u arsenit kislotasi bilan reaksiyaga kirishadi.

$2FeAsS + Fe_2(SO_4)_3 + 5O_2(g) + 6H_2O = Fe_2SO_4 + H_3AsO_4 + 4S$ (17)

$Fe_2SO_4 + H_2SO_4 + O_2 = Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$ (18)

$2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4$ (19)



4-rasm. Bakterial oldindan oksidlash jarayonining texnologik sxemasi.

Jarayon afzalliklari kichik investitsiyalar, past narx, oddiy usul, oson ishlash, atrof-muhitning ifloslanmasligi va hokazo. Bakterial oksidlash past sifatli mishyak tarkibli rudalar uchun ham qo‘llanilishi mumkin, bu esa metall ajratib olish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Atrof-muhit ifloslanishi tobora jiddiylashayotgan bugungi kunda, bakterial oksidlanish “yashil metallurgiya jarayoni” deb ataladi va metallurgiya muhandisligi kelajagining yangi umidi sifatida mashhur bo‘lmoqda.

Bakterial oksidlanish jarayoni oltinni eritish uchun taxminan uch bosqichga bo‘linadi: (1) bakteriya madaniyatini ishlab chiqarish uchun Thiobacillus ferroxidans va boshqa bakteriyalarni o‘stirish va bakterial eritish uchun sulfat kislota eritmasini tayyorlash, pH = 1.5-2.5; (2) bakteriyalarni katalizator sifatida ishlatish, oksidlash va mishyak hamda oltingugurtni olib tashlash; (3) oldindan ishlov berilgan qoldiqlarni sianlash (yoki boshqa usullar) orqali oltinni eritish, oldindan ishlov berilgan eritma bakterial faollashganidan keyin qayta ishlatilishi mumkin.

Biroq, bakterial oksidlash jarayonida hali ham ba’zi kamchiliklar mavjud bo‘lib, ular takomillashtirilishi kerak, masalan, oksidlash uchun eritma zichligi past bo‘lmasligi, temirdan yasalgan dastgohlarning oson korroziyaga uchrashi, bakteriyalarning haroratga chidamlilik talablarining mavjudligi va past ishlov berish tezligi.

A. D. Bailey va boshqalar partiyali biooksidlash usulini taklif qilishdi, bu eritma zichligini oshirishga yordam beradi. Ushbu usul yordamida eritma zichligi 40% va hatto 50% ga yetkazildi va u past sifatli sulfidlarga boy bo‘lgan murakkab oltin rudalari uchun qo‘llandi [24].

A. Mazuelos va boshqalar jarayon amalga oshiriluvchi reaktorlarni loyihalashdi. Ushbu reaktor bakterial oksidlashni Fe^{+2} ionidan bakteriyalarni ajratdi va temir oksidlanishini murakkab oltin tarkibli rudalarida amalga oshirdi, natijada bioreaktor samaradorligi oshirildi [25].

Xitoy Fanlar Akademiyasining Mikrobiologiya Instituti bakterial oksidlash bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar o‘tkazdi. 1980 -yilda institut Guangxidagi mishyak tarkibli oltin ruda va konsentrati ustida sinovlar o‘tkazib, mishyakni olib tashlashga muvaffaq bo‘ldi. Mishyak tarkibi <6%, qattiqqa-suyuq nisbati 1:5, harorat 30-35°C, pH = 1.5-2.5, bakterial soni 1085/ml dan yuqori, eritma 5-6 kun davomida aralashtirilib, HCl yordamida eritish qoldiqlarini yuvib, mishyakning yo‘qotilish samaradorligi 90% ga yetdi, oltin ajratib olish darajasi esa 90% dan yuqori bo‘ldi.

Boshqa usullar. Yuqoridagi oldindan ishlov berish jarayonlaridan tashqari, murakkab oltin rudalarini oldindan ishlov berishning yangi turlari ishlab chiqilgan, masalan, vakuumda mishyakni olib tashlash, uchuvchan birikma shaklida yo‘qotish, ajratuvchi kuydirish, elektrokimyoviy oksidlash va boshqalar.

Vakuumda mishyakni yo‘qotish jarayoni - bu arsenopiritni isitib, vakuum muhitida mishyakgacha

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

parchalanishiga asoslanadi. Bu mishyakni olib tashlash uchun samarali usul hisoblanadi. Agar tarkibida pirit mavjud bo‘lsa, S va As ning sulfid yoki arsenid birikmalari kondensator orqali qotib cho‘kma hosil qiladi. Shuning uchun ajralgan gazni alohida tozalashga ehtiyoj qolmaydi.

Uchuvchan birikma shaklida yo‘qotish usuli mishyakni yanada to‘liqroq yo‘qotadi va yaxshi texnik hamda iqtisodiy ko‘rsatkichlarga ega. Bu usul katta ishlab chiqarish quvvatiga ega bo‘lib, eritish sexining turli oraliq mahsulotlarini qayta ishlash imkonini beradi. Biroq, ushbu usulda hosil bo‘ladigan tutun tarkibida ko‘p miqdorda oltin (Au) bo‘lib, bu esa atrof-muhitni jiddiy ifloslantiradi.

Ajratuvchi kuydirish - bu mishyakni olib tashlash maqsadida oltin ruda va boyitmalarini to‘liq kuydirish jarayonidir. Jarayon davomida hosil bo‘ladigan yuqori konsentratsiyadagi tutun gazi keyingi qayta ishlash uchun yig‘ib olinishi kerak. Chiqadigan kalsinat (kudirilgan mahsulot) ma’lum miqdordagi qaytaruvchi va xlorlovchi moddalar bilan ajratish jarayoniga yuboriladi. Ajratilgan mahsulot esa yuqori navli konsentrat olish uchun tanlab olinadi. Ushbu usulning afzalligi - energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishdir. Biroq, yuqori konsentratsiyadagi tutun gazini qayta ishlash atrof-muhit uchun katta muammo tug‘diradi [26, 27].

Elektrokimyoviy oksidlash - bu ma’lum muhitda elektrod reaksiyasi yordamida mishyak va sulfid tarkibli oltin rudalarini oksidlash jarayonidir. Dielektrik tizim tarkibida sulfat kislotasi, azot kislotasi va xlorid kislotasi kabi moddalardan iborat eritma ishlatiladi. Ushbu jarayon natijalari bosimli oksidlashga o‘xshash bo‘ladi. Jarayon murakkab oltin tarkibli rudalarining mikrostrukturasi va g‘ovakligini o‘zgartirib, oltinni eritib olishni osonlashtiradi. Eng muhimi, bu usulda oksidlash va eritish bir tizimda bir vaqtda amalga oshiriladi. Harbuor Light bakterial oksidlash usuli bilan solishtirilganda, bu usul iqtisodiy jihatdan amalga oshirish uchun qulay hisoblanadi [28, 29].

Natijalar. Tadqiqot davomida mishyak saqlagan, qiyin qayta ishlanadigan oltin rudalariga dastlabki ishlov berishning bir necha muqobil texnologik variantlari ko‘rib chiqildi. Jumladan, kuydirish orqali oksidlash, ho‘l kimyoviy ishlov berish, bakterial oksidlash, vakuumda mishyakni yo‘qotish, uchuvchan eritish, hamda elektrokimyoviy oksidlash usullari tahlil qilindi.

Har bir usulning texnologik samaradorligi, iqtisodiy jihatlari, ekologik xavfsizligi va sanoatda qo‘llash imkoniyatlari nuqtayi nazaridan baholandi. Kuydirish usuli yuqori darajada mishyakni yo‘qotish imkonini bersa-da, atmosferaga zararli gazlarning chiqishi tufayli qo‘shimcha gaz tozalash tizimlarini talab qiladi. Bakterial oksidlash esa energiya sarfini kamaytirishga imkon beradi, biroq jarayonning sekinligi bu usulni sanoat miqyosida to‘liq joriy etishni cheklaydi. Elektrokimyoviy oksidlash esa ancha istiqbolli bo‘lib, nazorat ostidagi sharoitda selektiv ishlov berish imkoniyatini taqdim etadi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, turli usullarni birlashtirish orqali kompleks yondashuv ishlab chiqilishi mumkin. Bu esa oltinni samarali ajratib olish bilan birga, mishyakni xavfsiz utilizatsiya qilish imkonini ham yaratadi. Kelgusida, ushbu sohada yuqori darajadagi texnologik Avtomatlashtirish, ekologik xavfsizlikni ta’minlovchi uskunalar, shuningdek, yangi avlod reagentlaridan foydalanish orqali yanada takomillashtirilgan ishlov berish tizimlarini joriy etish kutilmoqda.

Muhokoma. Yuqori mishyakli oltin rudalariga oldindan ishlov berish texnologiyasi tobora katta e’tibor qozonmoqda va bu oltin sanoatining rivojlanishida muqarrar yo‘nalish hisoblanadi. So‘nggi yillarda olimlarning uzluksiz sa’y-harakatlari natijasida ushbu texnologiyaga katta qiziqish uyg‘ondi va muhim yutuqlarga erishildi. Kelajakda oldindan ishlov berish texnologiyasining rivojlanish maqsadi - qayta foydalanish imkoniyati mavjud bo‘lgan, qayta tiklanadigan, past xarajatli, kam energiya sarflaydigan, kam chiqindili va yuqori samarali texnologiyalarni yaratishdan iborat.

Ushbu texnologiyaning rivojlanish yo‘nalishlari quyidagilardan iborat:

Birinchidan, energiya tejamkorligi va yuqori samaradorlik bo‘yicha yanada chuqur tadqiqotlar olib borilishi zarur. Ayniqsa, murakkab va past navli oltin rudalari uchun suyuq membranali ekstraksiya usulini innovatsion asosda tadqiq qilish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Ikkinchidan, oltinni ajratib olish texnologiyalarining rivojlanishi energiyani tejash va chiqindilarni kamaytirish talablariga mos kelishi kerak. Shu sababli, murakkab oltin rudalarini flotatsiya usulida boyitish jarayonining rivojlanish tenden-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

siyalari nafaqat qayta ishlash darajasini oshirish, balki rafinat (qayta ishlovdan qolgan eritmalar)ni qayta ishlatish va ekologik jihatlarga e'tibor berishga qaratiladi.

Uchinchidan, past navli murakkab oltin resurslarini o'zlashtirish va ulardan foydalanish bo'yicha izlanishlar kengaymoqda. Murakkab oltin tarkibli rudalarni qayta ishlash bosqichma-bosqich rivojlanar ekan, past navli rudalarning ulushi tobora ortib bormoqda. Shu bois, past xarajatli va yuqori ajratib olish darajasiga ega texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Va nihoyat, murakkab oltin tarkibli rudalardan oltinni ajratib olish samaradorligini oshirish bo'yicha tizimli texnik tadqiqotlar olib borilmoqda. An'anaviy flotatsiya usullari murakkab rudalarning yuqori flotatsion xossasi tufayli kam yo'qotish bilan ajratiladi. Shuning uchun "yuqori unum va yuqori qayta tiklanish ko'rsatkichiga ega flotatsiya" jarayoni asosiy rivojlanish yo'nalishlaridan biriga aylanadi.

Xulosa. Xulosa qilib aytganda, murakkab oltin rudalarini eritib olishdan oldingi ishlov berish jarayoni oltin sanoatidagi eng murakkab va dolzarb texnik muammolardan biridir. So'nggi yillarda bu boradagi ilmiy tadqiqotlar va texnologiyalar doimiy ravishda takomillashib bormoqda. Oldindan ishlov berish jarayonlarini rivojlantirish nafaqat oltinni ajratib olish samaradorligini oshirish, balki atrof-muhitni himoya qilish va resurslardan samarali foydalanishni ta'minlash maqsadida ham muhimdir.

Murakkab oltin rudalarining qayta ishlanishi nafaqat ishlab chiqarishning samaradorligini oshiradi, balki oltin sanoatining kelajakdagi rivojlanishida yangi imkoniyatlar yaratadi. Shuningdek, bu jarayonlarning energetik jihatdan samarali va ekologik xavfsiz bo'lishi ayniqsa muhim hisoblanadi. Bugungi kunda bu sohada olib borilayotgan izlanishlar va texnologik yangiliklar tufayli murakkab oltin rudalarini o'zlashtirish va ulardan foydalanish istiqbollari tobora kengayib bormoqda. Kelajakda bu texnologiyalar oltin ishlab chiqarish jarayonlarini yanada samarali va barqaror qilishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. S. R. La Brooy, H. G. Linge and G. S. Walker: Miner. Eng., 7 (1994), 1213.
2. H. Yang, E. Gong and Y. Li: J. Northeastern Univ. (Natural Science), 12 (2008), 1742.
3. Y. Zhou, S. Tian and L. Liu: Metal Mine., 2 (2009), 98.
4. Y. Meng and L. Wang: Nonferrous Metal., 4 (2001), 29.
5. C. Chen and X. Yao: Gold Sci. Technol., 4 (2001), 29.
6. H. Xie and S. Chen: Multipur. Utilization Miner. Resour., 4 (2006), 10.
7. H. Liu: Metallic Ore Dressing Abroad., 42 (2005), 5.
8. K. E. Hqaue: Gold Metallurgy. Energy Press, Beijing, (1988), 438.
9. X. Sun and Z. Huang: Foreign Gold Reference, 3 (1998), 36.
10. K. E. Haque: Mine Process, 57 (1999), 1.
11. Q. Liu and R. Tang: 4th National Youth Academic Conf. on Beneficiation Kunming (1996).
12. S. J. Roberts: Can. Min. J., 97 (1976), 54.
13. Y. Meng: Prec. Met., 25 (2004), 1.
14. Y. Meng, S. Dai and S. Su: Gold J., 26 (2005), 34.
15. Y. Meng, M. Wu, S. Su and L. Wang: Nonferrous Met., 55 (2003), 43.
16. Y. Meng, M. Wu, S. Su and L. Wang: Gold, 25 (2004), 26.
17. Y. Meng, M. Wu, S. Su and L. Wang: Gold, 23 (2002), 25.
18. S. Nie: Refractory Gold Ore to Leach Gold, The Geological Publishing house Beijing (1997).
19. D. Li: Min. Metall., 20 (2011), 50.
20. J. Sun: Gold and Silver Metallurgy, Press of Metallurgy Industry, Beijing (1998).
21. L. Wang and C. Liu: Gold, 21 (2000), 4.
22. J. Li: Hydrometallurgy China, 1 (2003), 1.
23. K. S. Fraser, R. H. Walton and J. A. Wells: Miner. Eng., 4 (1991), 1029.
24. A. B. Bailey and G. S. Handford: Miner. Eng., 2/3 (1994), 293.